表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">PET-CT 等建设项目（迁扩建）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">东阳市横店集团医院（横店文荣医院）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>陈志兴</td><td>联系人</td><td>金政军</td><td>联系电话</td><td colspan="2">13967498156</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">东阳市横店镇迎宾大道 99 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">东阳市横店集团医院（横店文荣医院）院区内</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">东阳市发展和改革局</td><td>批准文号</td><td colspan="2">东发改审批 [2012]10 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资(万元)</td><td>61000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>200</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>0.33</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">□新建 □改建 √迁扩建 □其他</td><td>占地面积（㎡）</td><td>不征地</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">□Ⅰ类（医疗使用） □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 √Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">√乙 √丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td colspan="5">√Ⅱ类 √Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

1.1 项目概况

为了改善横店镇的医疗卫生条件，方便群众保健就医，东阳横店基础设施投资有限公司投资 61000 万元，建设东阳市横店集团医院（横店文荣医院），建成以后现横店集团医院将实施整体搬迁。东阳市横店集团医院（横店文荣医院）位于东阳市横店镇迎宾大道 99 号，其占地 120 亩，一期建筑面积 9 万平方米，设计病床 700 张，计划 2015 年完工后投入使用。

由于医院发展的需要，经东阳市发展和改革局（东发改审批[2012]10 号文件）批复。医院将整体搬迁至新院区东阳市横店镇迎宾大道 99 号（新院区），同时根据金华市卫生局（金卫[2014]66 号文件）批复，变更医院名称为东阳市横店集团医院（横店文荣医院）。该项目的非放环评已于 2011 年 10 月 24 日经东阳市环境保护局（东环 [2011] 242 号文件）批复。

医院整体搬迁后，老院区的全部射线装置都将迁入新院区。辐射设备的迁建项目中（1 台 CR、1 台胃肠机报废，1 台 CT 搬迁或报废），16 台Ⅲ类射线装置、2 台磁共振的迁建环评已于 2014 年 11 月 6 日经东阳市环境保护局（东环 [2014] 296 号）同意批复。本次环评项目为迁建 1 台 SPECT/CT，并在此基础上扩建 1 台 PET-CT 和 1 台 DSA。

经与建设单位核实，医院 5 年内从事辐射活动的规模为：16 台Ⅲ类射线装置、2 台磁共振、1 台 DSA 、1 台 PET-CT 及配套使用的 ^{18}F；1 台 SPECT/CT 及配套使用的 ^{99m}Tc、^{18}F、^{67}Ga、^{201}TI、^{123}I； ^{89}Sr、^{153}Sm、^{32}P、^{131}I、^{125}I 粒子放射性药品。

根据国家有关辐射环境管理的规定，东阳市横店集团医院（横店文荣医院）项目需编制辐射环境影响评价文件，并须在使用前办理《辐射安全许可证》，故确定本次环评的规模：扩建 1 台 DSA；扩建 1 台 PET-CT 及配套使用的 ^{18}F；迁建 1 台 SPECT/CT 及配套使用的 ^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{67}Ga、^{201}TI、^{123}I； ^{89}Sr、^{153}Sm、^{32}P、^{125}I 粒子放射性药品。（本次环评的 ^{131}I 用于甲亢，只做显像；^{131}I 其它操作在新院区医院 4 号楼进行，不在本次环评内。）

为保护环境，保障公众健康，东阳市横店集团医院（横店文荣医院）于 2015 年 4 月 14 日正式委托浙江国辐环保科技中心对本项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘、监测和收集有关资料的基础上，按照国家对辐射项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成该项目的辐射环境影响报告表（报批稿）。

1.2 周围环境概况

东阳市横店集团医院（横店文荣医院）所在地东侧为横店客运中心，南侧为迎宾大道，西侧为上城老路和民房(距最近民房距离约为 100m)，北侧为民房(距最近民房距离约为 100m)。医院具体地理位置见附图 1，总平面及周围环境布置图见附图 2。

本项目迁建的 SPECT-CT 和拟购 PET-CT 的拟建址位于东阳市横店集团医院（横店文荣医院）住院楼地下一层核医学科，其东侧为空地，南侧为门急诊医技楼，西侧为上城老路，北侧为后勤行政楼，其在医院总平面布置中的位置见附图 2。

本项目拟购的 DSA 的拟建址位于东阳市横店集团医院（横店文荣医院）门急诊医技楼三楼，其东侧为空地，南侧为迎宾大道，西侧为上城老路，北侧为住院楼，其在医院总平面布置中的位置见附图 2。

PET-CT 位于住院部地下一楼核医学科，其平面布置见附图 3，其东侧为操作室和走道，南侧为走廊，西侧为更衣室，北侧为候诊室（2）。

SPECT-CT 位于住院部地下一楼核医学科，其平面布置见附图 3，其东侧为走道，南侧为 SPECT-CT 的操作室，西侧为 PET-CT 的操作室和走道，北侧为等候区。

DSA 位于医技楼三楼，其平面布置见附图 4，其东侧为手术室，南侧为门诊手术室，西侧为天井，北侧为设备间。

各机房周围 50m 范围内主要为其他医疗用房，无环境敏感点。

1.3 现有工程回顾

东阳市横店集团医院（老院区）现配备有 1 台回旋加速器、19 台Ⅲ类射线装置、1 台 SPECT/CT、2 台磁共振，其中 1 台回旋加速器、1 台 SPECT/CT、1 台 C 臂机、1 台 CT、1 台 CR、1 台胃肠机均取得了《辐射安全许可证》（浙环辐证[G0037]）；并已通过验收。

在历年运行中，医院成立了辐射安全防护和放药管理小组，制定了《辐射工作安全责任书》、《辐射安全防护与管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量控制方案》、《放射废物处理方案》、《辐射安全防护自行检查及年度监测制度》、《核医学科门诊用药患者管理制度》、《放射性药品的使用、清洁管理制度》、《放射性核素操作规程》、《辐射事故应急预案》等一系列规章制度。

同时，医院辐射工作人员均取得了上岗证、建立了辐射工作人员个人剂量档案和职业健康档案。并委托进行了工作场所年度监测，同时，医院每年均填写《年度辐射安全与防护状况评估报告》。

表 2 辐射活动规模表

序号	装置名称	规格型号	数量	类别	主要技术参数	用途	场所	环评情况	备注
1	DR	GE-Definium	1	III类	150kV、800mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房	已取得东阳市环境保护局批复 东环(2014)296 号	搬迁
2	口腔全景机	Soredex PP1	1	III类	85kV、10mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		搬迁
3	双能 X 线骨密度仪	GE-Prodigy DXA	1	III类	150kV、2.5mA	医疗诊断	新院区门诊楼一楼体检中心		搬迁
4	移动 X 线机	Simens-Polymobil	1	III类	125kV、150mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		搬迁
5	移动 X 线机	岛津-MU125P	1	III类	125Kv、100mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		搬迁
6	磁共振	GE-Singna1.5T	1	——	1.5T	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		搬迁
7	移动 C 臂机	GE-QEC9800	1	III类	120kV、150mA	医疗诊断	新院区门诊楼三楼手术室		搬迁
8	口腔 CT	待定	1	III类	120kV、10mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		拟购
9	CT*	待定	3	III类	140kV、800mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		拟购

序号	装置名称	规格型号	数量	类别	主要技术参数	用途	场所	环评情况	备注
10	乳腺钼靶机	待定	1	Ⅲ类	35kV、150mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		拟购
11	DR	待定	2	Ⅲ类	150kV、800mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房	已取得东阳市环境保护局批复 东环(2014)296 号	拟购
12	数字胃肠机	待定	1	Ⅲ类	150kV、800mA	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		拟购
13	DR	待定	1	Ⅲ类	150kV、800mA	医疗诊断	新院区门诊楼一楼体检中心		拟购
14	DR	待定	1	Ⅲ类	150kV、800mA	医疗诊断	新院区感染门诊楼一楼机房		拟购
15	磁共振	待定	1	——	3.0T	医疗诊断	新院区医技楼一楼放射科机房		拟购
16	回旋加速器	GE.MINtrace	1	Ⅱ类	1.66 T	生产	老院区加速器机房	——	已划归横店原子高科公司
17	CR	UD150L-30E	1	Ⅲ类	150kV、800mA	医疗诊断	老院区病房楼一楼放射科		搬迁后，报废
18	胃肠机	Axquatro	1	Ⅲ类	150kV、500mA	医疗诊断	老院区病房楼一楼放射科		搬迁后，报废
19	CT	MX8000	1	Ⅲ类	140kV、800mA	医疗诊断	老院区病房楼一楼 CT 室		搬迁后，报废
20	SPECT-CT	GEMillennillm VG-8	1	Ⅲ类	140kV、250mA	医疗诊断	新院区住院部地下一楼核医学科	本次环评	搬迁

序号	装置名称	规格型号	数量	类别	主要技术参数	用途	场所	环评情况	备注
21	PET-CT	待定	1	Ⅲ类	140kV、800mA	医疗诊断	新院区住院部地下一楼核医学科	本次环评	拟购
22	DSA	待定	1	Ⅱ类	125kV、1250mA	医疗诊断	新院区三楼手术室		拟购

表 3　放射性同位素

核素名称	年最大用量（Bq）	日等效操作量（Bq）	日最大用量情况		半衰期	性状	用途	贮存方式	来源
			放射性活度	数 量					
^{18}F	3.33×10^{12}	1.11×10^{8}	3.7×10^{8}（10mCi /每人）	30 人/次 每周 6 次	1.83h	液态	诊断	根据实际使用量购买，购买单位为须为有资质的单位，购买后置于放射性药物存放室、采取双人双锁的管理方式存放。	购买
^{99m}Tc	1.11×10^{13}	3.7×10^{8}	7.4×10^{8}（20mCi /每人）	50 人/次 每周 6 次	6.02h	液态	诊断		
^{89}Sr	9.25×10^{10}	2.64×10^{7}	1.85×10^{8}（5mCi /每人）	10 人/次 每周 1 次	50.5d	液态	治疗		
^{153}Sm	3.7×10^{11}	1.06×10^{8}	7.4×10^{8}（20mCi /每人）	10 人/次 每周 1 次	46.4h	液态	治疗		

核素名称	年最大用量（Bq）	日等效操作量（Bq）	日最大用量情况		半衰期	性状	用途	贮存方式	来源
			放射性活度	数 量					
^{32}P	9.25×10^{10}	2.64×10^{7}	1.85×10^{8}（5mCi /每人）	10 人/次 每周 1 次	14.3d	液态	治疗	根据实际使用量购买，购买单位为须为有资质的单位，购买后置于放射性药物存放室、采取双人双锁的管理方式存放。	购买
^{67}Ga	9.25×10^{10}	2.64×10^{7}	1.85×10^{8}（5mCi /每人）	10 人/次 每周 1 次	78.3h	液态	诊断		
^{201}TI	3.7×10^{11}	1.06×10^{7}	7.4×10^{8}（20mCi /每人）	10 人/次 每周 1 次	74h	液态	诊断		
^{123}I	3.9×10^{11}	1.3×10^{7}	1.3×10^{8}（3.5mCi /每人）	10 人/次 每周 6 次	13.7h	液态	诊断		
^{125}I 粒子	60000 粒× 3.33×10^{7}	200 粒× 3.33×10^{6}	100 粒× 3.33×10^{7}	2 人/次 每周 6 次	60.1d	固态	治疗	置于核医学源库，操作在 DSA 和 CT 室使用。	
备注	本次环评的 ^{131}I 用于甲亢，只做显像；^{131}I 其它操作在新院区医院 4 号楼进行，不在本次环评内。 ^{131}I 显像 10 人/次，每周 20 次。								

表 4　密封源

核素名称	放射性活度（Bq）	数量	物理、化学性状	贮存方式	分类
^{68}Ge	3.7×10^{8}	3 枚	^{68}Ge 的半衰期为 287 天，常温下为固态，毒性分组为中毒组。	PET-CT 校准源 PET 室内	Ⅴ类源

表 5　废物（放射性废物）

废弃物名称	状态	排放口浓度	年排放总量	暂存情况	最终去向
报废的 ^{68}Ge、^{125}I 放射源**。	固态金属	治疗过程中不产生放射性废水、废气。	根据实际使用情况更换。	放射源存放在注射源库内	废源由供源方回收
放射性废水	液体	总 α：<1Bq/L 总 β：<10Bq/L	根据实际使用情况。	核医学科衰变池暂存	符合 GB 18871- 2002 低放废水排
放射性固废	固态	放射性比活度小于 2.0×10^{4}Bq/kg***	根据实际使用情况。	废物储存室	10 个半衰期后作为普通医疗垃圾处理

注：*目前医院无废放射源。

**废放射源是指不打算用于其初始目的的密封放射源。

***依据《城市放射性废物管理办法》

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》，2014 年 4 月； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》，2003 年 9 月； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月； （4）《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 12 月； （6）《放射性废物安全管理条例》，2012 年 3 月； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》，国家环境保护部令第 33 号，2015 年 4 月； （8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 修正版），中华人民共和国环境保护部令第 3 号，2008 年 12 月； （9）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，国家环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月； （10）《浙江省建设项目环境保护管理办法》，省政府令第 288 号，2011 年 12 月； （11）《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月； （12）浙江省环保厅关于发布《省环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015 年本）》及《设区市环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知，浙环发〔2015〕38 号，2015 年 9 月 23 日。
技术标准	《辐射环境保护管理导则　核技术利用建设项目　环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1－2016），环境保护部。

其他	（1）《东阳市发展和改革局关于横店人民医院建设项目可行性研究报告的批复》东阳市发展和改革局 东发改审批[2012]10 号； （2）原《辐射安全许可证》，浙环辐证[G0037]； （3）东阳市横店集团医院建设项目的验收意见； （2）《关于同意东阳市横店集团医院变更名称的批复》金华市卫生局 金卫[2014]66 号； （3）关于《横店人民医院建设项目环境影响报告书》审查意见的函 东环 [2011] 242 号； （6）关于《东阳市横店集团医院（横店文荣医院）磁共振等辐射装置建设项目（迁建）环境影响登记表》审批意见的函》，东环 [2014] 296 号，2014 年 11 月 6 日； （7）委托书，2015 年 4 月 14 日； （8）规章制度； （9）放射工作人员登记表（辐射工作人员上岗证、辐射工作人员个人剂量检测和职业健康检查登记清单）； （10）辐射工作人员个人剂量档案； （11）职业健康档案； （12）告知书，2015 年 6 月 26 日； （13）年度评估报告。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

按照 HJ10.1-2016《辐射环境保护管理导则　核技术利用建设项目　环境影响评价文件的内容和格式》的规定，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围，放射源和射线装置的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）。

因此，本项目评价范围为机房周围 50m 区域。

保护目标

本项目的评价保护对象为医院从事放射及核医学诊断的工作人员、机房周围其他非辐射工作人员和医院周围活动的公众成员。

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

① 剂量限制

第 4.3.2.1 款，应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。

第 B1.2 款　公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a）年有效剂量，1mSv；

本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

② 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

第 B2 款　表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7-1 所列。

③非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-2 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-1　工作场所的放射性表面污染控制水平　　单位：Bq/cm^2

表　面　类　型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 1)	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
1）该区内的高污染子区除外。		

表 7-2　非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}～4×10^{9}
丙	豁免活度值以上～2×10^{7}

④放射性物质向环境排放的控制

第 8.6.2 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a）每月排放的总活度不超过 $10ALI_{min}$（ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）；

b）每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

⑤实践的正当性

对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。对于不具有正当性的实践及该实践中的源，不应予以批准。

（2）《放射性废物的分类》（GB9133-1995）

第 5 款，第 I 级（低放废液）：浓度小于或等于 $4\times10^{6}Bq/L$；第Ⅱ级（中放废液）：浓度大于 $4\times10^{6}Bq/L$，小于或等于 $4\times10^{10}Bq/L$；第Ⅲ级（高放废液）：浓度大于 $4\times10^{10}Bq/L$。

第 6 款，含有半衰期小于或等于 60d 的放射性核素的废物，按其放射性比活度水平分为二级。第 I 级（低放废物）：比活度小于或等于 $4\times10^{6}Bq/kg$；第Ⅱ级（中放废物）；比活度大于 $4\times10^{6}Bq/kg$。

（3）《临床核医学卫生防护标准》（GBZ 120-2006）

本标准规定了临床核医学诊断与治疗实践中有关工作人员以及工作场所的放射卫生防护要求。

本标准适用于临床核医学应用放射性药物实施诊断与治疗的实践。

4.2 一般临床核医学的活性实验室、病房、洗涤室、显像室等工作场所属于 GB18871 规定的乙级或丙级非密封源工作场所。

4.5 合成和操作放射性药物所使用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排除空气浓度不应超过有关法律标准规定的限值。

5 放射性药物操作的一般放射防护要求

5.3 操作放射性药物应在衬有吸水纸的托盘内进行，工作人员应穿戴个人防护用品。

5.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行，并按操作情况进行气体或气溶胶放射性浓度的常规监测以及必要的特殊监测，应注意对放射性碘在操作人员甲状腺的沉积的防护。

5.5 在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

5.6 工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染监测，如其污染水平超过 GB18871 规定值，应采取相应的去污措施。

5.7 从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过 GB18871 规定的表面污染空置水平的物品被带出控制区。

5.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需要的那部分。

5.10 放射性物质的贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不得入内。

5.11 贮存和运输放射性物质时均应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的防火措施。

5.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位，到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

（4）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

第 7.1.2 款规定，应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

第 7.1.3 款规定，应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物

最小化。

第 7.1.4 款规定，应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

第 7.2.1 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。

第 7.2.2 款规定，废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

第 7.2.3 款规定，经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

第 7.2.4 款规定，使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

第 7.3.3 款规定，对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

（5）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）

本标准规定了对医用放射性废物管理的基本防护、液体废物、气载废物、含放射性核素尸体的卫生防护管理要求及废物管理制度。

本标准适用于医学实践中所产生的含有放射性核素或被放射性核素所污染且不再利用的废弃物即医用放射性废物（以下简称放射性废物）的管理。

5 液体废物的管理

5.1 放射性废液

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10^7Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

5.1.2 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将仅含短半衰期核素的废液注入专用容器中存放 10 个半衰期后，经审管部门审核准许，可作普通废液处理。含长半衰期核素的废液，应专用收集存放。

5.1.3 经审管部门确认的下列低放废液可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道；每月排放总活度或每一次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应做记录并存档。

5.2　注射或服用过放射性药物的患者排泄物

5.2.1 符合下列条件之一的病人排泄物不需要统一管理:

a)注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物;

b)符合出院条件的病人排泄物。

6 固体废物的管理

6.1 废物收集

6.1.1 按第 4.2 条放射性废物分类和废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物。

6.1.2 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

6.1.3 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

6.1.5 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

7 气载废物的管理

7.1 操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

（6）《医用 X 射线诊断放射防护标准》（GBZ 130-2013）

本标准适用于医用诊断 X 射线机的生产和使用。

4.6　移动式和携带式 X 射线设备防护性能的专用要求

4.6.3　连接曝光开关的电缆长度应不小于 3m，或配置遥控曝光开关。

5　X射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 X射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

5.2 每台X射线机（不含移动式和携带式床旁摄影机与车载X射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的X射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表7-3要求。

表7-3　X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积m^2	机房内最小单边长度m
CT机	30	4.5
双管头或多管头X射线机[a]	30	4.5
单管头X射线机[b]	20	3.5
a　双管头或多管头X射线机的所有管球安装在同一间机房内。 b　单管头、双管头或多管头X射线机的每个管球各安装在1个房间内。 c　透视专用机指无诊断床、标称管电流小于5mA的X射线机。		

5.3　X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a）不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表3要求。

b）医用诊断X射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录D。

c）应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

d）带有自屏蔽防护或距 X 射线设备表面 1m 处辐射剂量水平不大于 2.5μGy/h 时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

表7-4　不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量mm	非有用线束方向铅当量mm
标称 125KV 以上的摄影机房	3	2
标称 125KV 及以下的摄影机房、口腔CT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2	1
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2（一般工作量） a 2.5（较大工作量） a	
a　按 GBZ/T 180 的要求。		

5.4　在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求（其检测方法及检测条件按 7.2 和附录 B 中 B.6 的要求）：

a）具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μGy/h；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b）CT 机机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μGy/h；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25μGy/h；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

（7）《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）

本标准规定了医用 X 射线计算机断层摄影装置（简称 CT）的防护性能、机房防护设施和安全操作的放射防护要求及检测要求。

本标准适用于 CT 使用中的防护。

5 机房的防护要求

5.1 CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应设在建筑物的一端。

5.2 CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30m^2，单边长度不小于 4m。机房内不应堆放无关杂物。

5.3 CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度，机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv（相应的周有效剂量小于 5μSv），距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应<2.5μGy/h。

5.4 CT 机房门外明显处应设置电离辐射警告标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

5.5 CT 机房应保持良好的通风。

（8）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

本标准规定了医疗机构污水、污水处理站产生的废气、污泥的污染物控制项目及其排放和控制限值、处理工艺和消毒要求、取样与监测和标准的实施与监督。

本标准适用于医疗机构污水、污水处理站产生污泥及废气排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。当医疗机构的办公区、非医疗生活区等污水与病区污水合流收集时，其综合污水排放均执行本标准。建有分流污水收集系统的医疗机构，其非病区生活区污水排放执行 GB8978 的相关规定。

4 技术内容

4.1 污水排放要求

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7-4 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

4.1.3 县级以下或 20 张床位以下的综合医疗机构和其他所有医疗机构污水经消毒处理后方可排放。

表 7-4 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总 A(Bq/L)	1	1
23	总 B(Bq/L)	10	10

8 环境质量和辐射现状

8.2 辐射环境背景监测

东阳市横店集团医院（横店文荣医院）辐射环境质量背景水平采用现场监测的方法进行调查。

8.2.1 监测目的

对扩建址进行辐射环境背景水平监测，并采用类比监测评价方法，预测该院扩建项目投入运行后的辐射环境影响。

8.2.2 监测内容

根据污染因子分析，评价单位分别于2015年6月4日对拟建址进行辐射剂量率背景水平监测。

8.2.3 监测点位

拟建机房周围，重点考虑人员可能到达的场所，监测点位布置详见图8-1、图8-2。

8.2.4 监测仪器与规范

监测仪器的参数与规范见表8-1。

表8-1 X-γ射线剂量率监测仪器参数与规范

仪器名称	剂量监测仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E
生产公司家	Thermo 公司
能量响应	60KeV～3MeV
量　　程	1nSv/h～100μSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院检定证书 （检定证书编号：2014H21-20-003654） 有效期：2014 年 8 月 13 日～2015 年 8 月 12 日
监测规范	《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93） 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）

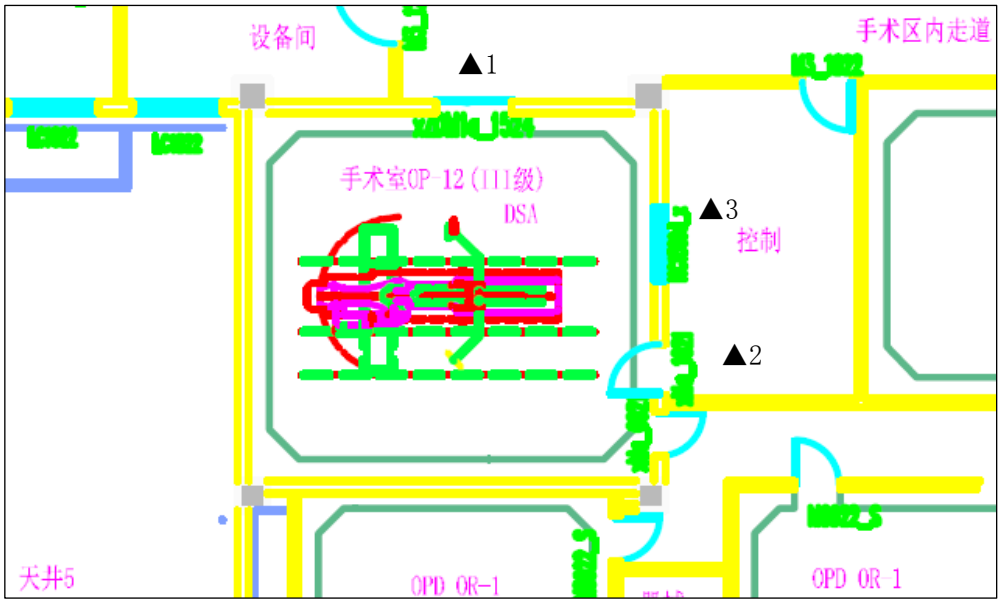


图 8-1　医技楼三楼 DSA 机房监测点位图

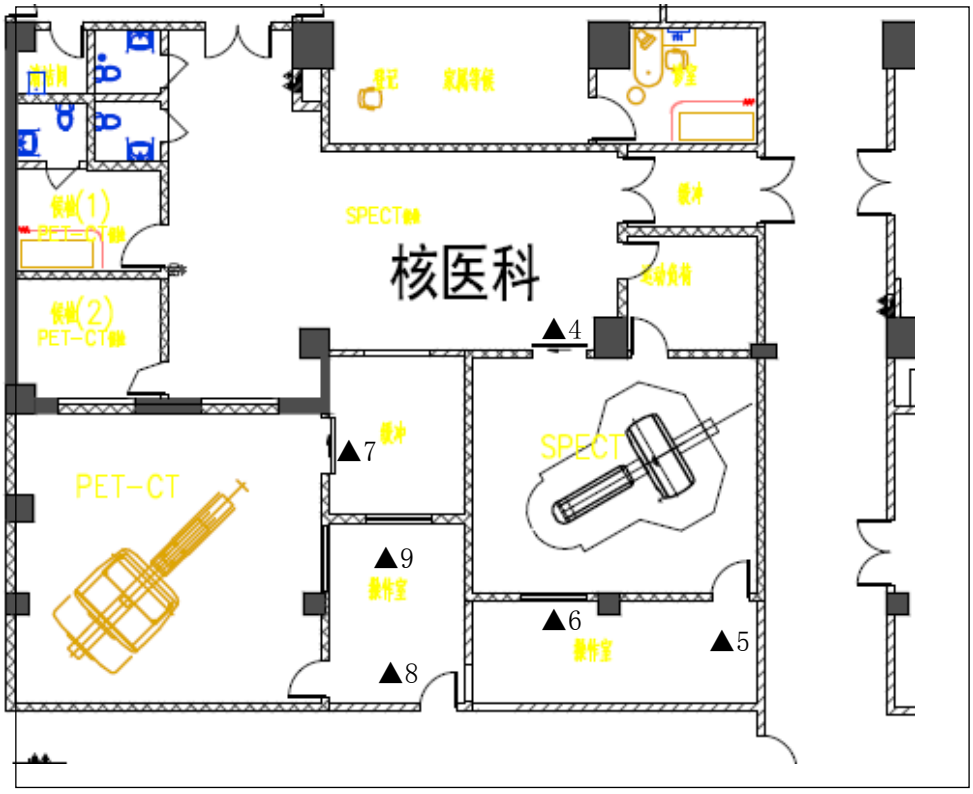


图 8-2　住院部地下一楼 SPECT/CT 及 PET-CT 机房监测点位图

8.3.5 监测结果

评价单位对各机房进行了背景监测，监测结果见表 8-3。

表 8-2 各机房背景监测结果

序号	机房名称	点位序号	测点描述	辐射剂量率（nSv/h）	
				平均值	标准差
1	DSA 机房	△1	DSA 机房病人出入口	376	146
		△2	DSA 机房工作人员出入口	87	71
		△3	DSA 机房操作室	245	130
2	SPECT/CT 机房	△4	SPECT 机房病人出入口	349	118
		△5	SPECT/CT 机房工作人员出入口	394	82
		△6	SPECT/CT 机房操作室	391	132
3	PET-CT 机房	△7	PET-CT 机房病人出入口	348	114
		△8	PET-CT 机房工作人员出入口	168	48
		△9	PET-CT 机房操作室	174	93

注：监测结果未扣除宇宙射线

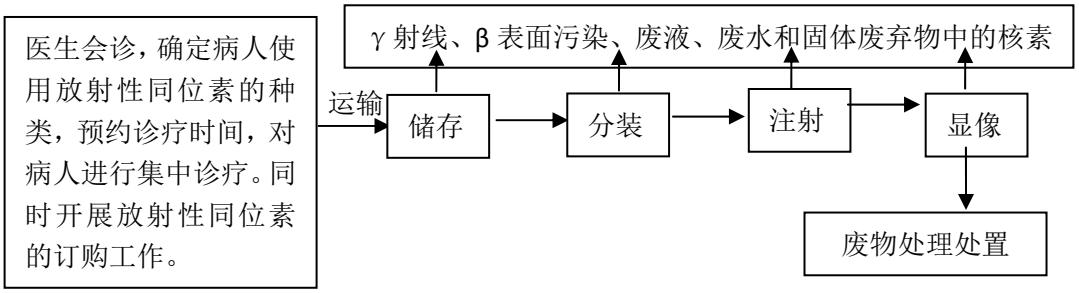
根据表 8-2 可知：医院各机房周围 γ 射线空气吸收剂量率在 87～394nSv/h 之间。由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，金华市室内 γ 辐射剂量率在 62～467nGy/h 之间，可见，该拟建址 γ 辐射本底水平未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

据东阳市横店集团医院（横店文荣医院）拟建各辐射装置，主要划分为核医学装置和放射射线装置两大类。

9.1 放射性同位素应用

9.1.1 放射性同位素使用流程



放射性药品中，除 ^{131}I 治疗甲亢需根据病人的需要分装外，其他同位素（^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Sr、^{32}P、^{67}Ga、^{201}Tl、^{153}Sm）不需要开展分装工作，可以直接使用。同位素由医院根据需要，向有资质的单位订购。

9.1.2 性能参数

本项目中，该院使用的同位素总共有：^{99m}Tc、^{18}F、^{131}I、^{89}Sr、^{153}Sm、^{32}P、^{67}Ga、^{201}TI、^{123}I 九种，均在核医学科内使用。

^{99m}Tc、^{18}F、^{67}Ga、^{201}TI 用于 SPECT 各器官显象诊断，^{131}I 用于检查甲状腺功能及甲状腺功能亢进，^{123}I 用于甲状腺功能诊断，脑血流显像，心肌显像，肾功能诊断和肾上腺显像以及各种脑受体显像中，^{32}P 用于核素敷贴治疗，^{89}Sr、^{153}Sm 用于肿瘤骨转移治疗，以上放射性同位素药剂医院视病人的需要，均直接外购供患者使用。各放射性核素的性能参数见表 9-1。

表 9-1 各放射性同位素性能参数表

核素	半衰期	衰变类型	毒性	$E_{\beta max}$（MeV）	$E_{\gamma 主要}$（keV）	年最大用量（Bq）	每个病人用量（Bq）	用途
^{18}F	1.83h	β^+	低毒	--	511	3.33×10^{12}	3.7×10^{8}	诊断
^{99m}Tc	6.02h	IT*	低毒	--	140	1.11×10^{13}	7.4×10^{8}	诊断
^{89}Sr	50.5d	β^-	中毒	1.488	--	9.25×10^{10}	1.85×10^{8}	治疗
^{153}Sm	46.4h	β^-	中毒	0.81	103	3.7×10^{11}	7.4×10^{8}	治疗

续表 9-1：

核素	半衰期	衰变类型	毒性	$E_{\beta max}$（MeV）	$E_{\gamma\ 主要}$（keV）	年最大用量（Bq）	每个病人用量（Bq）	用途
^{32}P	14.3d	β^-	中毒	1.71	--	5.55×10^{11}	1.85×10^{8}	治疗
^{67}Ga	78h	ε^{**}	中毒	--	93	9.25×10^{10}	1.85×10^{8}	诊断
^{201}TI	3.1d	ε^{**}	低毒	--	80	3.7×10^{11}	7.4×10^{8}	诊断
^{123}I	13.2h	ε^{**}	低毒	--	159	3.9×10^{11}	1.3×10^{8}	诊断

注： IT^{*}表示同质异能跃迁，ε^{**}表示轨道电子俘获，下同。

9.1.3 工作原理

①^{99m}Tc、②^{18}F

当某种放射性核素或其标记物（^{99m}Tc 标记在 SPECT 中显像、^{18}F 标记在 PET-CT 中显像）通过注射，口服等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 SPECT 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，SPECT 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

③^{89}Sr

利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素靶运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞紧密结合。根据当距辐射源的距离增大，来自源的辐射强度随距离平方值增长而减小的原理，使得辐射剂量主要集中在病灶内，而在比较远处的正常健康细胞得到较低的、不太会引起损伤的剂量。

④^{153}Sm

^{153}Sm-EDTMP 的络合作用小，不影响血钙，其特点为与骨组织有高的亲和力，浓具在骨更新的部位，并且局限在骨机制的生长区，特别是矿化的骨层，实践证明是有效的缓解晚期骨转移癌疼痛的药物。

⑤^{32}P

血细胞增生性疾病在发展过程中，对磷的需求量增高。若给病人以 ^{32}P，则被迅速生长的组织大量摄取。由于 ^{32}P 衰变时发射 β 粒子，其电离辐射的生物效应使过度增生组织中细胞的 DNA 和 RNA 发生破坏，从而抑制了血细胞的异常增生，达到治疗目的。

⑥^{67}Ga

^{67}Ga 进入血液后，与血液中的输铁蛋白相结合，输送到肿瘤细胞，浓集于肿瘤细胞内的溶酶体和溶酶体颗粒中，肿瘤细胞中的糖酵解活力增加，PH 降低，使 ^{67}Ga 离子能够与肿瘤细胞中的蛋白质相结合，从而能使癌症部位显像。^{67}Ga 也可能通过细胞膜上存在的输铁蛋白受体而被肿瘤细胞中的蛋白质相结合，能使癌症部位显像，同时通过轨道电子俘获，产生 X 射线，其能量为 93keV。

⑦^{201}Tl

^{201}Tl 静脉注射后被肿瘤细胞所摄取，并随时间增加而储留量增多，其在肿瘤内浓集的机理是与钠-钾-ATP 酶中的钾被置换所致，也与肿瘤部位的血供丰富有关，故可以用于肿瘤显像。同时通过轨道电子俘获，产生 X 射线，其能量为 80keV。

因此，γ 射线（X 射线）是该项目的主要污染因子。另外，同用 ^{99m}Tc 作标记的 SPECT 一样，医生在对带有 ^{201}Tl 制剂的各种操作中，不可避免地会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，也会产生一些固体废弃物，还有病人的排泄物等对水环境的污染。

因此，用 ^{201}Tl 标记 SPECT/CT 项目污染因子是：γ 射线、废水和固体废弃物中的 ^{201}Tl。

⑧^{123}I

^{123}I 放射性药物可用于甲状腺功能诊断，脑血流显像，心肌显像，肾功能诊断和肾上腺显像以及各种脑受体显像中。在碘的放射性同位素中，半衰期为 13.2h，发射 159KeV(83.6%)的 ^{123}I 最适于制备核医学诊断用放射性药物。

9.1.4 污染因子

医院采用向外订购的方式开展核医学科检查，虽然提高了药物成本，但减少了生产、合成和质控等环节，给工作场所的辐射防护提供了有利条件。核医学科工作人员只须从原包装中抽取药物，直接给病人注射，受药病人在指定场所静卧待检。存放过的空瓶连同外包装物，由供方即时回收，从而避免对工作场所造成大面积的放射性 β 表面污染。

^{99m}Tc 、^{89}Sr、^{153}Sm、^{32}P 均为液态，所使用的核素根据实际使用需要，直接外购，核素通过口服或注射进入体内，属于简单湿法操作，患者在服药后，如无特殊情况，即离院回家，无须住

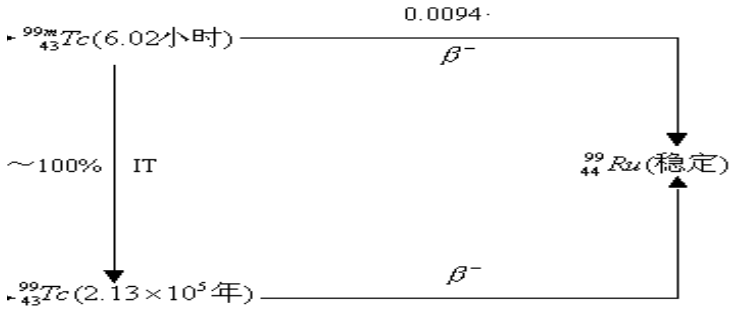
院。

①用 ^{99m}Tc 作标记 SPECT/CT

医院现有的 SPECT/CT 为直接外购 ^{99m}Tc 做为标记溶液，不用“母牛”洗脱，一般情况下，医院不对 ^{99m}Tc 标记溶液进行分装，偶有用量很少的情况下才进行分装操作。

^{99m}Tc 的主要衰变方式是同质异能跃迁，发射 γ 射线，下面列出其衰变的详细过程：

用 ^{99m}Tc 标记 SPECT/CT 对工作环境造成的影响主要是 ^{99m}Tc 标记溶液和注射标记液后的病人对工作人员的 γ 外照射，^{99m}Tc 标记溶液在注射操作过程中失误标记溶液溅洒对工作台面、地面等造成表面污染。放射性废液主要是病人排泄物。固态放射性废物主要是操作过程中被污染的医生戴的手套等。^{99m}Tc 为非挥发性物质，无溶液的挥发，无放射性气体污染。



因此，用 ^{99m}Tc 标记 SPECT/CT 项目污染因子是：γ 射线、β 表面污染、废液、废水和固体废弃物中的 ^{99m}Tc。

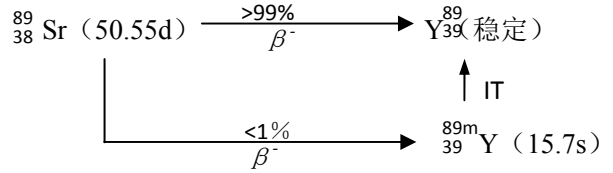
②用 ^{18}F 作标记 PET-CT

^{18}F（正电子）与负电子相结合，能产生湮没 γ 光子辐射，能量为 0.511MeV。因此，γ 射线是该项目的主要污染因子。另外，同用 ^{99m}Tc 作标记的 SPECT/CT 一样，医生在对带有 ^{18}F 制剂的各种操作中，不可避免地会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染；也会产生一些固体废弃物，还有病人的排泄物等对水环境的污染。

因此，用 ^{18}F 标记 PET-CT 项目污染因子是：γ 射线、β 表面污染、废水和固体废弃物中的 ^{18}F。

③^{89}Sr

^{89}Sr 治疗项目，其使用核素的主要衰变方式是 β^-，下面列出其衰变的详细过程：



^{89}Sr 衰变时产生的 β 射程较短，且容易被屏蔽，与其长期平衡的 ^{89m}Y 衰变时产生少量的 γ

射线，因此，γ 射线是该项目的主要污染因子。

④^{153}Sm

^{153}Sm 发生 β 衰变时伴随发射 0.103MeV 的 γ 射线。因此，γ 射线是该项目的主要污染因子。

⑤^{32}P

^{32}P 为反应堆产生的放射性核素，衰变时放出 β 射线，为纯 β 衰变，其最大能量为 1.7MeV，平均能量为 0.69MeV，组织内最大射程 8mm，平均射程 4mm。β 射线容易被物质阻挡，治疗时，β 射线可全部被患者的机体吸收，因此，对外界影响可忽略不计。

另外，医生在对带有各种放射性核素制剂的操作中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时，或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素，造成对水环境的污染。医生在质控室实验，或给病人打针时，都会产生固体废弃物（如试管、注射器、手套等），这些废弃物中都会有残余放射性同位素，造成对固体废弃物的污染。

⑥^{67}Ga、^{201}Tl、^{123}I

γ 射线（X 射线）是该项目的主要污染因子。另外，同用 ^{99m}Tc 作标记的 SPECT/CT 一样，医生在对带有 ^{67}Ga、^{201}Tl、^{123}I 制剂的各种操作中，不可避免地都会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，也都会产生一些固体废弃物，还有病人的排泄物等对水环境的污染。

因此，用 ^{67}Ga、^{201}Tl、^{123}I 标记 SPECT/CT 项目污染因子是：γ 射线、废水和固体废弃

综上所述，该项目的污染因子有 β 表面污染、废液、废水和固体废弃物中的 ^{99m}Tc、^{18}F 、^{131}I、^{89}Sr、^{153}Sm、^{32}P、^{67}Ga、^{201}Tl、^{123}I 核素。

9.2 ^{125}I 密封籽源

9.2.1 性能参数

^{125}I 的半衰期是 59.6 天，衰变方式是轨道电子俘获，主要发射 27.5keV 的 X 射线（79.4%）和 35.5keV 的退激 γ 射线（6.8%）。

9.2.2 工作原理

^{125}I 密封籽源的体积甚小（直径为 0.80±0.05mm；长度为 4.50±0.30mm），半衰期短，其发射的 X、γ 射线能量低，可采用皮下穿刺等微创方法，将其准确地植入肿瘤内部进行定向治疗，利用 ^{125}I 发射的 γ 射线抑制肿瘤的生长，达到治疗肿瘤的目的，，通常用于脑部肿瘤、颈部肿瘤、肺癌、前列腺癌、肝癌、乳腺癌、口腔肿瘤和支气管肿瘤等的治疗，其外观照片见图 8-1。

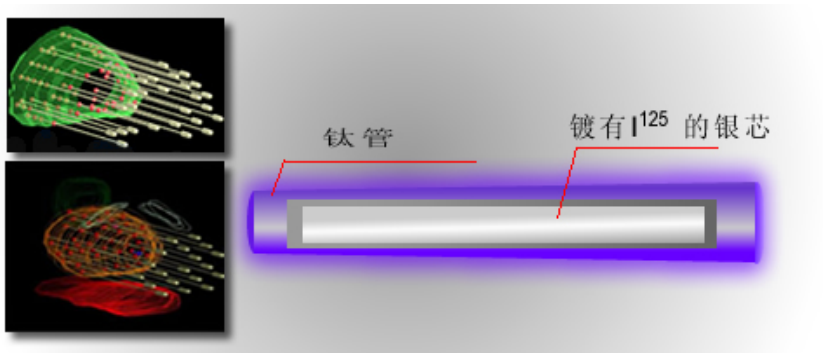


图 8-1 ^{125}I 密封籽源外观照片

9.2.3 污染因子

由于 ^{125}I 衰变方式是轨道电子俘获，主要发射 27.5keV 的 X 射线，该院通过手术直接植入病变组织，在治疗过程中无放射性的固体废弃物、废水和废气的产生，因此 ^{125}I 密封籽源治疗过程中的污染因子是 X 射线。

9.3 配套 ^{68}Ge 校准源

本项目 PET-CT 内配套使用 3 枚 3.7×10^{8}Bq 的 ^{68}Ge 校准源，平时都存放在铅屏蔽容器中。

9.3.1 工作原理

^{68}Ge 校准源模拟注射同位素药物的人体，用于探头采集均匀性和能峰的校准。

9.3.2 操作流程

a. 将 ^{68}Ge 放射源放置在病床上；

b. 做放射源透射的质量控制；

c.进行病人检查，采集病人体内核素发射的射线，然后再采集校准源的透射线；

d. 将源卸下，放入放射源存储室内。

9.3.3 污染因子

^{68}Ge 放射源衰变放出 γ 射线，所以本项目以其 γ 射线为主要污染因子。

9.4 其他放射射线装置（DSA、配套 CT）

（1）工作原理

DSA、CT 均为采用 X 射线进行摄影的技术设备。上述设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，详见图 8-2。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面

为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

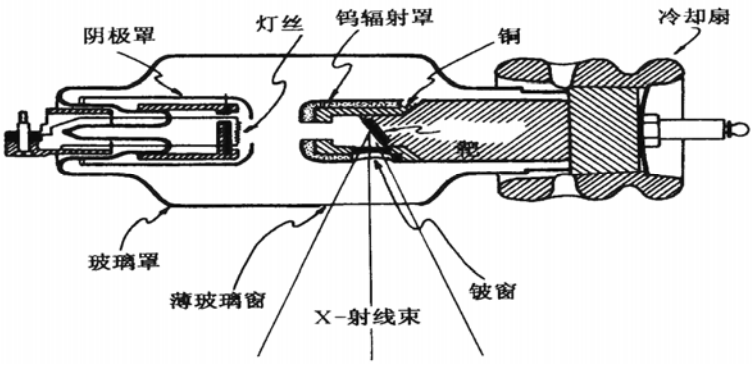


图 8-2　典型 X 射线管结构图

① DSA

DSA 是数字 X 线成像（digital radiography，DR）的一个组成部分。DR 是先使人体某部在影像增强器（IITV）影屏上成像，用高分辨力摄象管对 IITV 上的图像行序列扫描，把所有得连续视频信号转为间断各自独立的信息，有如把 IITV 上的图像分成一定数量的水方块，即象素。复经模拟/数字转换器转成数字，并按序排成字矩阵。这样，图像就被象素化和数字化了。是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术多种科技手段于一体的系统。DSA 主要采用时间减影法，具有高精密度和灵敏度。

②CT

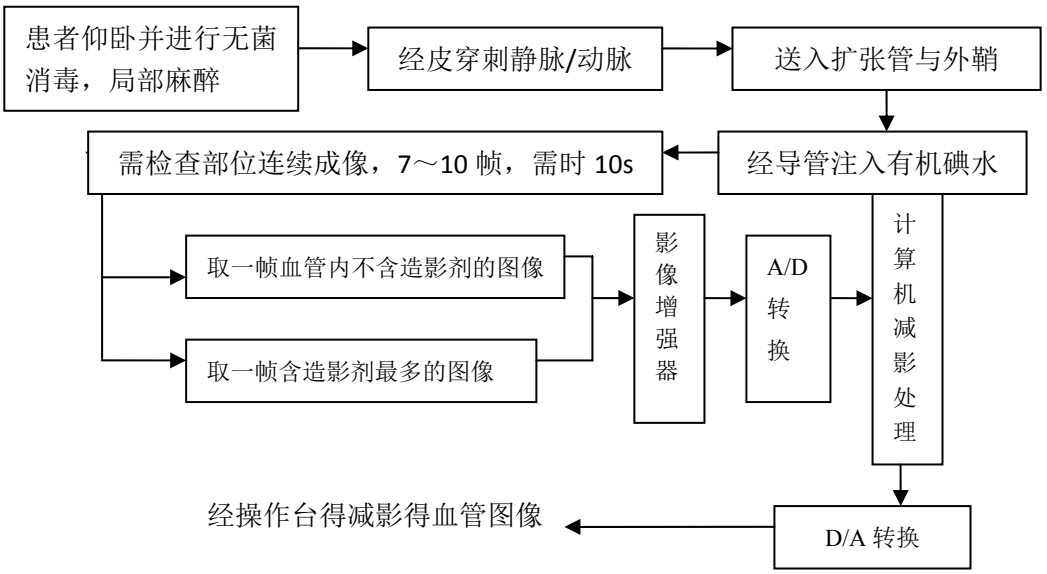
CT 是利用 X 射线对人体不同组织穿透力不同的原理，寻找病灶部位、形状及体积大小并予以定位、摄影，它用 X 线胶片代替荧光屏，永久记录被检部位影像的一种设备，这种方法比透视能发现更多有诊断价值的信息。

（2）设备组成

虽然上述诊断用的 X 线机因诊断目的不同有很大的差别，但其基本结构都是由产生 X 线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

（3）操作流程

① DSA



②CT

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

（4）污染因子

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

医院采用干片成像获取病人资料，故各射线设备运行时无放射性废气、废水和固体废物产生。

表 10 辐射安全与防护

10.1 射线装置及场所的辐射屏蔽设计分析

由于医院发展的需要，医院整体搬迁后，老院区的全部射线装置都将迁入新院区。辐射设备的迁建项目中（1 台 CR、1 台胃肠机报废，1 台 CT 搬迁或报废），16 台Ⅲ类射线装置、2 台磁共振的迁建环评已于 2014 年 11 月 6 日经东阳市环境保护局（东环 [2014] 296 号）同意批复。本次环评项目为迁建 1 台 SPECT/CT，并在此基础上扩建 1 台 PET-CT 和 1 台 DSA。

根据医院提供设计资料，本项目各辐射工作场所屏蔽设施情况见表 10-1：

表 10-1　　核医学科设计屏蔽情况一览表

名称	四周墙体	顶棚	工作人员出入防护门	病人出入防护门	观察窗	符合性
DSA	4mm 铅板	15cm 混凝土 +3cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）	4mm 铅板	4mm 铅板	4mm 铅当量	符合
SPECT/CT 工作场所	24cm 实心砖 +3.5cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）	20cm 混凝土 +3cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）	4mm 铅板	4mm 铅板	4mm 铅当量	符合
PET-CT 工作场所	24cm 实心砖 +3.5cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）	20cm 混凝土 +3cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）	4mm 铅板	4mm 铅板	4mm 铅当量	符合

10.2 工作场所分区

（1）工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算公式如下：

$$日等效操作量=\frac{实际日操作量\times核素毒性因子}{操作方式的修正因子} \qquad (10\text{-}1)$$

在评价时，根据医院规划的门诊量（见表 3）和附录 C 中表 C2、C3 查得的各核素的毒性因子和操作方式的修正因子。根据式(10-1)计算得到的核医学科各核素日等效操作量结果见表 10-1，对照表 2-2 非密封源工作场所分级标准确定的分级结果也见表 10-2。

表 10-2 核医学科工作场所分级

核素名称	实际日操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效操作量（Bq）	工作场所分级
^{18}F	1.11×10^{10}	0.01	1	1.11×10^{8}	乙级
^{99m}Tc	3.7×10^{10}	0.01	1	3.7×10^{8}	乙级
^{89}Sr	2.64×10^{8}	0.1	1	2.64×10^{7}	乙级
^{153}Sm	1.06×10^{9}	0.1	1	1.06×10^{8}	乙级
^{32}P	2.64×10^{8}	0.1	1	2.64×10^{7}	乙级
^{67}Ga	2.64×10^{8}	0.1	1	2.64×10^{7}	乙级
^{201}TI	1.06×10^{9}	0.01	1	1.06×10^{7}	丙级
^{123}I	1.3×10^{7}	0.01	1	1.3×10^{7}	丙级
^{125}I	200 粒× 3.33×10^{7}	0.1	1	200 粒× 3.33×10^{6}	乙级

核医学科同时操作上述 9 种核素的日等效操作量加权活度为 1.25×10^{8}Bq，仍属于临床核医学Ⅱ类工作场所（50MBq～50000 MBq）。对照《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于“按不同级别工作场所室内表面和装备的要求”（见表 10-2）。

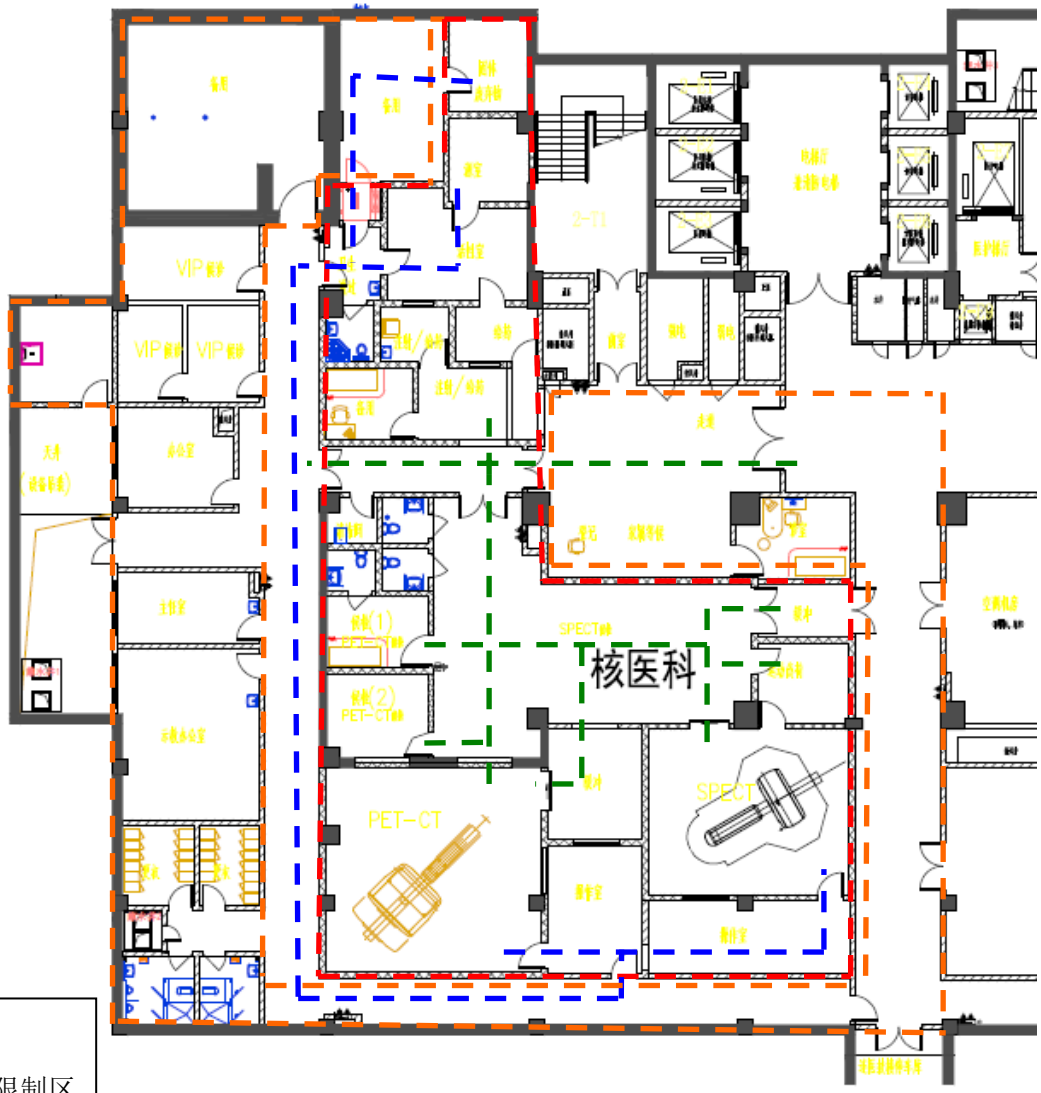
表 10-2　按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	地面	表面	通风柜	室内通风	管道	清洗及去污设备
乙	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
丙	易清洗	易清洗	——	一般自然通风	一般要求	需要

（2）工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，核医学工作场所依据管理的需要，可分为三区，即控制区、监督区和非限制区。①SPECT/CT 机房、PET-CT 机房、候诊室等可划为控制区。②登记室、备用室等可划分为监督区。③控制区、监督区之外的其它办公用房为非限制区。

目前该院核医学用房的设计布局如图 10-1 所示。设置了专用的医生通道，有医生专用的卫生通过间，设置了病人通道，有病人专用的候诊室，病人独立的厕所。



注：红线区域为控制区
黄线区域为监督区
控制区、监督区之外为非限制区
蓝线为工作人员通道
绿线为病人通道

图 10-1　工作场所三区划分图

10.3 项目安全设施

10.3.1 SPECT/CT 及 PET-CT 机房

（1）根据医院提供的资料，该院 PET-CT 扫描室、候诊室和药物贮存室为 24cm 的实心砖墙+3.5cm 防护涂料；SPECT/CT 扫描室、候诊室和药物贮存室为 24cm 的实心砖墙+3.5cm 防护涂料。观察窗为 4mm 铅当量的铅玻璃，机房门为 4mm 铅板，符合屏蔽防护要求。

（2）工作场所分区

①根据医院提供的设计资料，该院的核医学用房布局应进行合理调整，设置病人专用的进口与出口。

②医院的核医学用房均应按《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中乙级工作场所的标准来进行设计施工。

（3）放射性废水（液）

①医院设置了 4 只地埋式衰变池，体积分别为 19m^3，底部进行了防渗漏处理，衰变池使用渗等级 P6 的 C30 混凝土进行浇铸。衰变池自动化管理，衰变池污水泵采用液下污水泵，衰变池内设浮子开关，当衰变池 12 到达开泵水位时，信号送至监控中心，由专人对水质进行检测，达标后方可排入室外医疗污水管闸，检测至达标排放前不可排放放射性废水。当衰变池 9 污水泵排水到达超低报警水位时自动停泵，到达报警水位时，24V 信号送至监控中心，于监控中心设置报警灯，提醒相关部门停止放射性污废水排入。4 个衰变池并联切换使用，能满足放射性废水每月排放不超过各自总活度要求。

②放射性废水排放前，须对池水取样检测，确认池中废水放射性活度，并做好排放记录。

（4）放射性固体废物

核医学科相关工作场所的放射性固体废物收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到放射性废弃物库内，集中收储 10 个半衰期后再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。用来收集放射性固体废物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并把受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。

对购置未用完已没有医用价值的其它放射性药品（统称为废液），医院要严格控制其产生，对残余的微量余液，应存放在原容器内，原容器应置于原带有铅防护筒内，经过 10 个半衰期后，再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。

同时放射性废物库应采取双人双锁的管理制度。

（5）医院须配备放射性药品保险箱、污物贮存桶、移动式防护注射车，铅砖、铅衣、铅帽、铅眼镜，家属用的双面和单面防护围裙等，使之能满足预计的使用要求，加强自我防护。

（6）存放放射性物品的分装室应安装防盗门和防盗报警装置，有专人负责看管，确保放射性药品的安全。

（7）核医学科放射性工作场所应设置电离辐射警告标志。

（8）在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

（9）工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染监测，如其污染水平超过GB18871规定值，应采取相应的去污措施。

（10）设置告示牌，告示病人家属^{18}F等候室不能进入进行陪护。

（11）住院接收放射性药物治疗患者的被服和个人用品使用后应作去污处理，并经表面污染监测合格后方可作一般处理。

（12）接受放射性药物治疗的患者应使用医院设置的专用卫生间。

（13）要求注射源库和废物库，按照放射源管理的要求，必须在门口张贴电离辐射警示标志，实行双人双锁，确保其具备“防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏”的功能。并由专人管理，安装摄像头等监控设施，并与110联网，以满足“放心放射源”达标验收的要求。

（14）废源淘汰时，废旧放射源应由生产厂家或有资质的单位及时处置。

103.2 其他射装置

已有的污染防治措施：

（1）各机房的屏蔽设计能力基本符合《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求。

（2）已经为现有辐射工作人员配备了个人剂量计，个人剂量定期检定。

扩建设备机房建成后，必须具备以下污染防治措施：

（1）机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。

（2）机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

（3）机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

（4）制定的各项辐射防护制度需张贴上墙。

（5）在DSA操作中，做好院感控制，防止交叉感染。

（6）按照标准要求增加配备防护用品，如铅帽、铅眼镜、铅衣、铅围脖、铅围裙、个人剂量计等辅助防护用品。

（7）应建立设备使用台帐登记。

（8）建议医院配备 1 台报警仪。

10.4 三废的治理

（1）放射性废液（废水）

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10^7Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

同时根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）5.2.8 款，a)注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物不需要统一管理。

因此，本次放射性废液的评价重点针对医护人员的洗手水、清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械的清洗水。

根据 GB18871-2002 的排放要求：每月排放总活度＜10ALImin，每次排放活度＜1ALImin，本次评价根据实际日最大操作量进行了保守的估算，以对设计衰变池作出评价，具体如下：

由污染源分析可知，放射性废水主要来自工作人员操作过程中手部可能受到微量 ^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Sr、^{153}Sm、^{67}Ca、^{201}Tl、^{123}I 污染的洗手水，清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量 ^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Sr 和 ^{153}Sm 的清洗水。其清洗废水和病人排泄物排放流程见图 10-2。

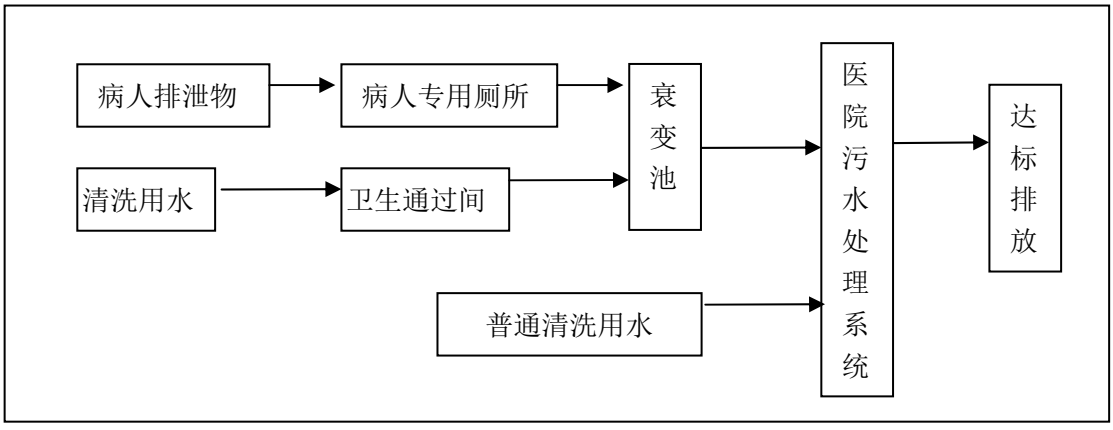


图 10-2　放射性废水处理流程图

清洗废水排放的保守假设：假设在诊治过程中某次操作不小心，有 1/100 放射性同位素沾到台面等处，其中 90%转移固体废物中去（按操作规程，应先用药棉等先擦去），10%转移到清洗

水中去，按每日排放废水 100L 计，事故排水按每次操作均存在计，则这些废水中每月初始排放放射性同位素的含量见表 10-3。

为限制排放总量要求，医院设置了 4 个并联的放射性废水衰变处理池，体积为 19m^3，衰变池使用渗等级 P6 的 C30 混凝土进行浇铸。四个衰变池的进水口阀门均分别与工作场所放射性废水排放管道相连，并在四个衰变池出水口阀门下方连通一个容积为 1m^3 的采样池。4 个衰变池并联切换使用，以满足放射性废水每月排放不超过各自总活度要求。衰变池自动化管理，衰变池污水泵采用液下污水泵，衰变池内设浮子开关，当衰变池 12 到达开泵水位时，信号送至监控中心，由专人对水质进行检测，达标后方可排入室外医疗污水管闸，检测至达标排放前不可排放放射性废水。当衰变池 9 污水泵排水到达超低报警水位时自动停泵，到达报警水位时，24V 信号送至监控中心，于监控中心设置报警灯，提醒相关部门停止放射性污废水排入。其衰变池排放形式见图 10-3。

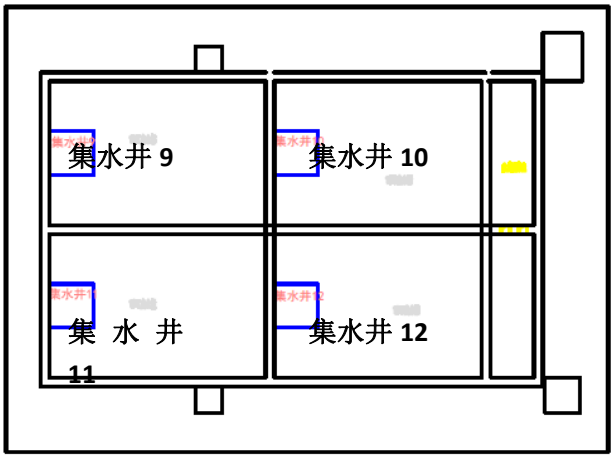


图 10-3　废水在衰变池中的排放形式图

该项目每日产生废水量为 100L，每个衰变池能存放 48 个工作日的放射性废水，按一周 5 个工作日，则相当于 10 周（即 70 天）。四个衰变处理池对放射性废水采取分别轮流收集、贮存、排放的办法进行处理，由工作场所排出的放射性废水有专用下水道先排入第一水池，待第一水池储满，关闭该水池进水口阀门，同时打开第二水池的进水口阀门，使工作场所排出的放射性废水进入第二水池，让第一池中废水的放射性物质自行衰变。当第二水池储满后，关闭该水池进水口阀门，同时打开第三水池的进水口阀门，使工作场所排出的放射性废水进入第三水池，让第一、二池中废水的放射性物质自行衰变。当第三水池储满后，关闭该池进水口阀门，同时打开第四水池的进水口阀门，使工作场所排出的放射性废水进入第四水池，让第一、二、三池中废水的放射性物质自行衰变。当第四水池即将储满时，打开第一衰变池的排水阀门，使池中废水排入采样井，并检测符合排放标准，最后排入医院总下水道。

第一衰变池废水排完后，关闭排水阀门，打开进水阀门，再次接纳工作场所排出的放射性废水，待第一水池再次即将储满时，打开第二衰变池排水阀门将废水排入采样井，检测合格，最后排入医院总下水道。第三衰变池废水排完后，待第二水池即将再次储满时，打开第三衰变池排水阀门将废水排入采样井，检测合格，最后排入医院总下水道。第三衰变池废水排完后，关闭该排水阀门，打开进水阀门，再次接纳工作场所排出的放射性废水，待第三水池即将再次储满时，打开第三衰变池排水阀门将废水排入采样井，检测合格，最后排入医院总下水道。第四衰变池废水排完后，关闭该排水阀门，打开进水阀门，再次接纳工作场所排出的放射性废水，待第四水池即将再次储满时，再次打开第一衰变池排水阀门将废水排入采样井，检测合格，最后排入医院总下水道。四个衰变池按照上述程序，依次轮流反复交替使用。

即放射性废水先排入第一个衰变池，待第一个池贮满后，关闭第一池并启用第二个衰变池，让第一池废水中的放射性物质自行衰变；待第二个衰变池贮满后，再启用第三个衰变池；待第三个衰变池贮满后，再启用第四个衰变池；当当第四衰变池贮满时，此时，第一衰变池已存放废水 210 天，废水中 ^{18}F 初始含量为 $1.11\times10^{10}\times1\%\times10\%=1.11\times10^{9}$Bq，经过 532 天衰变历时了 290.7 个半衰期后 ^{18}F 含量为 $1.11\times10^{9}\times(1/2)^{290.7}=3.43\times10^{-79}Bq=4.37\times10^{-85}$ALImin<10ALImin，具体见表 10-3。

表 10-3　放射性废水排放方式表

	^{99m}Tc	^{18}F	^{89}Sr	^{153}Sm
进入衰变池的初始量（Bq）	3.7×10^{9}	1.11×10^{9}	1.85×10^{8}	7.4×10^{8}
ALImin（Bq）	3.0×10^{9}	2.0×10^{8}	3.0×10^{6}	3.0×10^{7}
经过半衰期数	88.4	290.7	10.5	11.5
排放量（Bq）	0.00	0.00	1.28×10^{5}	2.55×10^{5}
排放标准	每月排放总活度<10ALImin 每次排放活度 <1 ALImin			
达标情况	达标	达标	达标	达标

（4）放射性固体废物

由污染源分析可知，放射性固体废物主要包括废液、一次性注射器、手套等物品。

对购置未用完已没有医用价值的其它放射性药品（统称为废液），医院要严格控制其产生，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，预定放射性药品。对残余的微量余液，应存放在原容器内，原容器应置于原带有铅皮飞防护筒内，经过 10 个半衰期后，再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。

核医学科相关工作场所的放射性固体废物收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到放射性废物库内，集中收储 10 个半衰期（其中含 ^{99m}Tc 的废物须满足贮存 3 天的要求，含 ^{18}F 的废物须贮存 1 天，含 ^{89}Sr 的废物须贮存 500 天，含 ^{153}Sm 的废物须贮存 20 天）后，再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。用来收集放射性固体废物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并把受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。

（5）放射性废气

由污染源分析可知，核医学科使用的 ^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Sr、^{153}Sm 等 4 种放射性同位素均为非挥发性核素，使用过程介质均为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤，因此，无放射性气体污染。为了安全起见，医院设置了分装通风柜，放射性药物的分装、取药等可能存在洒出污染危险，通常都在负压通风柜内操作，不存在食入、吸入等内照射影响。操作放射性药物所使用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 1m/s），排气口应高于本建筑屋脊。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

在建设过程中，未使用放射性同位素，故放射性同位素不会对周围环境造成电离辐射影响。其用量根据医院需求由供货单位提供，并由供货单位承担运输等安全责任。因此，提供放射性同位素的过程不对本院辐射工作人员产生辐射影响。

射线装置只有在开机曝光过程中才会产生辐射，其产生的射线是随机器的开、关而产生和消失的。在建设过程中射线装置未通电运行，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废物产生。

运行阶段对环境的影响

本次评价采用类比监测的评价方法，预测 ^{99m}Tc、^{89}Sr、^{153}Sm 同位素投入运行后的辐射环境影响，采用理论计算的评价方法预测 ^{18}F 投入运行后的辐射环境影响。

根据医院的预计门诊量，^{99m}Tc 的门诊病人量较大，而 ^{18}F 核素的能量较大，因此在保守剂量估算中仅考虑 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 诊断中的照射剂量（门诊人数以所有核素门诊病人计，其对辐射工作人员产生的辐射剂量可忽略不计）。

类比对象选取浙江大学医学院附属第一医院的 SPECT 机房 2（使用 ^{99m}Tc），SPECT 机房防护情况为：四周墙体为 28cm 混凝土（相当于 3mm 铅当量），顶棚为 16cm 混凝土，防护门具有 3mm 铅板，观察窗具有 5mm 铅当量，与本项目防护情况较为一致，具有较好的可比性，γ 辐射剂量率类比监测结果见表 11-1，β 表面污染类比监测结果见表 11-2、表 11-3。

表 11-1　放射性同位素 γ 辐射剂量率类比监测结果

点位序号	点位描述				辐射剂量率（nGy/h）	
					平均值	标准差
★1	SPECT 机房 2	观察窗（操作位）	开机状态为 SPECT 室内有一个注射了 25mCi99mTc 的病人；	关机	81.3	0.9
				开机	81.8	0.8
★2		医生出入门 30cm 处		关机	81.3	0.9
				开机	81.8	0.8
★3		西侧病人出入门		关机	80.6	1.0
				开机	81.2	0.8
★4		北侧病人出入门 1		关机	80.6	1.2
				开机	81.4	0.9
★5		北侧病人出入门 2		关机	80.4	0.8
				开机	81.0	0.7
★6		东侧病人出入门		关机	81.4	1.0
				开机	92.2	0.8
★7	注射操作台前注射 25mCi 99mTc		医生操作位		35145.6	27.4
★8			1m 处		3783.2	10.8
★9	废物库		废物桶侧表面 30cm 处		5521.4	8.4
★10			废物桶正上方 30cm 处		3311.8	4.1
★11			门口		111.0	1.6
★12	衰变池上方 30cm 处				113.2	2.0
■1	同位素室	通风柜前分装 131I，操作位处（有 4mm 铅玻璃做防			4006.0	6.6
■2		医生操作位（病人取药台面，给 5mCi 药）			53123.8	13.8
■3		废物库废物桶侧表面 30cm 处			6638.6	4.8
■4		病人表面 30cm 处（服药 5min 后）			45126.0	11.3

表 11-2 同位素室周围 β 表面污染类比监测结果

序号	测点描述	β 表面污染（Bq/cm2）
1	分装室医生操作位地面	<0.4
2	分装室医生操作位铅玻璃表面	<0.4
3	分装室医生操作位墙壁（离地 1.5m）	<0.4
4	病人取药台面中央	<0.4
5	病人服药位地面处	<0.4
6	废物库侧表面	<0.4

表 11-3　SPECT 机房 β 表面污染类比监测结果

序号	测点描述	β 表面污染（Bq/cm2）
1	注射工作台面	<0.4
2	注射窗口	<0.4
3	标记注射室地面	<0.4
4	标记注射室墙壁	<0.4
5	标记注射室水池表面	<0.4
8	操作工作人员衣服	<0.4
9	操作工作人员手	<0.4

②剂量率估算模式

放射性同位素无屏蔽时剂量率计算可按下式计算：

$$D = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \quad \text{……（10-2）}$$

式中 D：γ 辐射剂量率水平

A：辐射源放射性活度

Γ：各种核素的 γ 照射率常数

R：预测点离源的距离

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A，X 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{E \cdot r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \quad \text{……（10-3）}$$

其中:　HEr: X 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv/a；

Dr: X 射线空气吸收剂量率，nGy/h；

t: X 射线照射时间，h/a；

0.7: 剂量换算系数, Sv/Gy。

③^{18}F 剂量估算

^{18}F 的辐射剂量率采用类比监测和理论计算相结合的评价方法进行估算。根据公式（10-2），γ 辐射剂量率与 γ 照射率常数和活度成正比。由于同位素由针管等进行屏蔽，纯理论很难估算其产生的辐射剂量。本次评价根据表 10-4 的类比监测结果，25mCi 的 ^{99m}Tc 的医生操作位的 γ 辐射剂量率为 35415.6 nGy/h。^{18}F 的 γ 照射率常数为 0.58R·m^2/h·Ci，^{99m}Tc 的 γ 照射率常数为 0.06R·m^2/h·Ci，则可估算出 10mCi 的 ^{18}F 医生操作位的 γ 辐射剂量率为

35415.6×10×0.58/25×0.06=136940.3 nGy/h，服侍病人上机检查位γ辐射剂量率为3783.2×10×0.58/25×0.06=14628.4 nGy/h。

④^{125}I密封粒源的剂量估算

根据公式（10-2），^{125}I的活度为$1.7\times10^{9}Bq$，γ照射率常数为$0.0043R\cdot m^2/h\cdot Ci$，按每次最大操作100颗估算，因此其30cm（医务人员操作时跟源的距离）的γ辐射剂量率水平为7115nGy/h。

⑤辐射工作人员剂量

根据类比监测结果，辐射工作人员受到的辐射照射来自分装核素和为病人注射核素、侍服病人上机等过程产生的照射。现假设：a 某一工作人员每次注射^{99m}Tc核素（γ辐射剂量率取35145.6nGy/h×20/25）0.5分钟，服侍已注射^{99m}Tc核素的病人（γ辐射剂量率取3783.2nGy/h×20/25）上机检查1分钟，年操作4549人次；b 每次注射^{18}F核素（γ辐射剂量率取136940.3）0.5分钟，服侍已注射^{18}F核素的病人（γ辐射剂量率取14628.4）上机检查1分钟，年操作1040人次；c 每次分装^{131}I核素（γ辐射剂量率取4006.0nGy/h×10/5）1分钟，给药（γ辐射剂量率取53123.8nGy/h×10/5）0.5分钟，年分装1040人次，操作2080人次。

根据监测结果和式（10-2）可以计算出所有操作均由一位辐射工作人员完成时，这位工作人员接受的附加年有效剂量约为4.17mSv，项目建成后医院预计有2名以上辐射工作人员从事核医学操作，则人均年附加有效剂量当量在8.34mSv以下，需要指出的是医院须合理安排作息时间及辐射工作人员分工，避免个别工作人员剂量较大现象发生。

本评价项目以5mSv作为管理限值，相比之下，该院的辐射工作人员所接受年附加有效剂量低于管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

⑥公众成员剂量

医院对核医学科严格管理，使公众成员不会到达控制区与监督区，同时该院的病人一般均为门诊病人，如无特殊情况，即由病人专门出口处离开，一般不住院，因此公众成员不会在该院内受到额外的辐射照射。

10.3.2 其他射线装置

（1）DSA

为预测拟建DSA机房外X射线吸收剂量率，本项目采用类比监测的评价方法。类比对象为浙江省某医院，其设备参数见表11-4。

表 11-4　类比情况一览表

	类比项目	本项目
主要技术指标	1250mA、150kV	1250mA、125kV
四周墙体	24cm 实心砖+3mmGF-3 型防护涂料	4mm 铅板
顶棚	16cm 混凝土	15cm 混凝土加 3mm 厚的防辐射涂料）相当于 5.0mmPb）
防护门	3mm 铅板	内衬 4mmPb 板
观察窗	2.3mm 铅当量	4mm 铅当量

浙江省中医院的各射线装置机房也是统一建造，与本项目屏蔽情况基本相当。因此可用浙江省中医院的类比监测结果来预测本医院扩建完成后射线装置运行时对环境的辐射影响。

浙江省中医院在用的 DSA②号机房周围的 X 射线剂量率水平监测结果见表 11-5，监测点位见图 11-1。

表 11-5　类比项目各机房周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

机房名称	点位序号	测点描述		辐射剂量率（nGy/h）	
				平均值	标准差
DSA②号机房 开机状态： 1000mA/100kV	★1	医生操作位	关机	133.2	1.9
			开机	136.0	1.6
	★2	观察窗前 5cm 处	关机	121.0	3.7
			开机	122.8	1.9
	★3	医生出入门前 30cm 处	关机	124.8	1.9
			开机	126.0	1.6
	★4	病人出入门前 30cm 处	关机	123.8	2.4
			开机	124.6	1.8
	★5	东侧电梯厅内	关机	136.4	2.1
			开机	136.4	2.3
	★6	南侧报告室室内	关机	141.0	1.6
			开机	140.2	3.3
	★7	机房内医生操作位（铅衣屏蔽）	关机	140.6	3.4
			开机	3980.8	32.9
	★8	一楼食堂内	关机	133.2	1.6
			开机	135.4	1.5
	★9	三楼一次性物品室室内	关机	137.8	1.9
			开机	138.8	1.9
	★10	三楼仪器室室内	关机	140.4	1.1
			开机	141.8	2.2

※监测结果未扣除宇宙射线的响应。

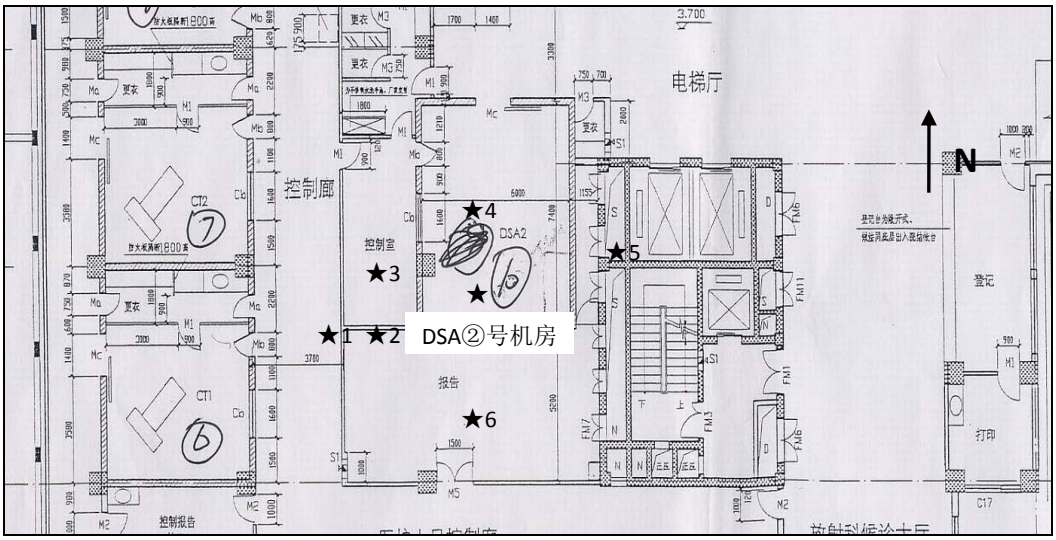


图 11-1　类比项目监测点位示意图

① DSA 辐射工作人员

现根据医院 DSA 的实际使用情况作保守假设，a.每年的病人数为 2000 人；b.每次检查在操作位处（γ 辐射剂量率取 3980.8nGy/h，该监测数据为铅围裙里面辐射工作人员身体位受到的辐射照射剂量。）停留 30 分钟；c.每次 DSA 操作有 2 名辐射工作人员共同完成，其中 1 名辐射工作人员在近距离操作，另 1 名工作人员在操作室内通过观察窗观察。假设所有近距离操作均由 1 位工作人员承担。

在上述偏保守的条件下，由公式(10-3)可以计算出该工作人员接受的附加年有效剂量当量为 2.8mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

根据表 11-5 的类比监测结果，机房周围 X 射线空气吸收剂量率与未开机时相比未见显著升高，表明机房周围的辐射工作人员不会受到额外的辐射照射。

② DSA 公众成员

由表 11-5 的监测结果可知：在正常使用条件下，DSA 机房周围 X 射线空气吸收剂量率与未开机时相比未见显著升高。表明其他非辐射工作人员和公众成员不会受到额外的辐射照射。

（2）配套 CT

为了分析了解该项目 CT 及其他普通 X 光机建成投入运行后对周围电磁环境所造成的辐射影响，本次评价分别选取绍兴县中心医院目前已经投入运行各辐射装置进行类比监测，可比性情况详见表 11-6。

表 11-6　类比情况一览表

	类比项目	本项目
主要技术指标	140kV、500mA	140kV 、800mA
四周墙体	24cm 混凝土墙+10mm 防护涂料	24cm 实心砖+3.5cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）
顶棚	无顶	20cm 混凝土+3cm 防护涂料（相当于 5mm 铅当量）
防护门	4mm 铅当量	4mm 铅当量
观察窗	3mm 铅当量	4mm 铅当量

本项目射线装置的防护略优于与类比项目的防护，因而具有较好的可类比性。因此可用类比项目射线装置的运行情况说明本项目建成投运后对周围环境的影响。γ 辐射剂量率类比监测结果见表 11-7。类比监测点位见图 11-2。

表 11-7　机房周围 γ 辐射剂量率类比监测结果

机房名称	点位序号	点　位　描　述		辐射剂量率（nGy/h）	
				平均值	标准差
螺旋 CT 机房（MX8000）	▲1	病人入口处门前 30cm	关机	105.0	1.58
			开机	115.2	1.92
	▲2	医生入口处门前 30cm	关机	106.2	1.48
			开机	114.8	2.39
	▲3	操作位前 30cm	关机	100.0	2.45
			开机	112.2	1.30
			开机	102.6	1.10

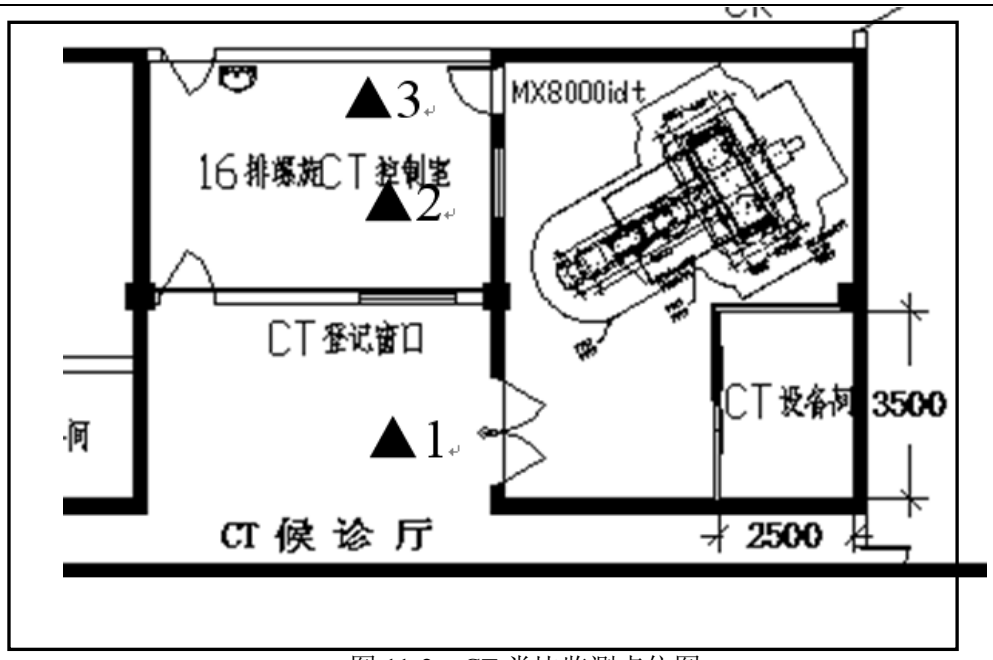


图 11-2　CT 类比监测点位图

类比监测结果可知，射线装置机房在正常使用条件下，各机房周围各关心点位 X-γ 辐射剂量率与未开机时相比未见明显升高，且开机工作时，辐射工作人员均位于操作位，故辐射工作人员和公众成员均不会受到额外的辐射照射，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

事故影响分析

一、放射性同位素

①由于误操作，导致较大放射性剂量注射的情况。

②装有放射性核素药物的货包未按预定的时间到达时的事故

③由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

④由于操作不慎，有少量的放射性同位素溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 40Bq/cm^2，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 40Bq/cm^2 为止。同时根据表 10-3 的计算，放射性衰变池能够满足本项目废水的排放。

二、其他放射射线装置

①工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室，射线装置运行可能产生误照射。

②安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置辐照室。

因此，医务人员必须严格按照射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。并且工作人员每次上班时首先要检查防护门上的灯光警示装置是否正常。如果失灵，应立即修理，恢复正常。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用III类放射源的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

辐射安全管理规章制度

医院已于 2016 年 2 月 14 日根据相关法律、法规及文件的要求，在基本健全各项规章制度和管理机构的基础上，取得了由浙江省环境保护厅颁发的《辐射安全许可证》，浙环辐证[G0037]（有效期至 2019 年 7 月 30 日），其许可的种类和范围是：制造 PET 用放射性药物，使用Ⅱ类和III类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

在历年运行中，医院成立了辐射安全防护和放药管理小组，制定了《辐射工作安全责任书》、《辐射安全防护与管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量控制方案》、《放射废物处理方案》、《辐射安全防护自行检查及年度监测制度》、《核医学科门诊用药患者管理制度》、《放射性药品的使用、清洁管理制度》、《放射性核素操作规程》等一系列规章制度。

医院从事辐射操作的工作人员已参加了环保部门组织的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并已取得相应资格上岗证。

医院辐射工作人员均已配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位检测一次，并建立了个人剂量档案。

医院已为辐射工作人员进行职业健康检查，每次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查，并建立个人健康档案。针对医院现有情况，及扩建后辐射活动规模扩大的变化情况，仍需满足以下要求：

（1）制定新增射线装置及放射性同位素使用的《操作规程》。

（2）制定《岗位职责》。

（6）要求新增的辐射工作人员按每 4 年一次进行再培训。

（7）要求新增的辐射工作人员也配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位检测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理。

（8）要求未进行身体健康检查的上岗人员进行职业健康检查；新增辐射工作人员每 2 年进行身体健康检查，并建立个人健康档案。对于新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；在本院从事过辐射工作的人员在离开工作岗位时也要进行健康检查。

（9）环评报批后，医院需及时向环保部门申请换领《辐射安全许可证》，并更改副本内容。

（10）医院须在本项目及医院的射线装置部分的内容投入试运行 3 个月内申请竣工验收。

（11）拟增项目在建设阶段应做好施工期环境监理，确保辐射安全。

（12）本项目实施退役的，应当依法编制和报批退役环境影响评价文件，按照环境保护行政主管部门的批复要求落实各项退役措施并接收验收检查。

辐射监测

医院须定期（每年一次）请有资质的单位对各辐射装置所在机房周围环境进行辐射环境监测，并建立监测技术档案，监测数据每年年底向省环保厅和当地环保局上报备案。

（1） 监测频度 ：每年常规监测一次。

（2） 监测范围 ：各机房周围，防护门及缝隙处，工作人员操作室，周围其他工作办公室和工作人员的表面。

（3） 监测项目：X-γ 辐射剂量率，β 表面污染，放射性废水排放前对池水取样监测。

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条之规定，医院已制定《辐射安全应急预案》。

结合医院的实际情况，应急方案已包括下列内容：

（一）应急机构和职责分工；

（二）应急人员的组织、培训以及应急；

（三）可能发生辐射事故类别与应急响应措施；

（四）应急方案已明确应急的具体人员和联系电话。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

（五）辐射事故调查、报告和处理程序。

同时应在上述应急预案中完善本项目扩建场所的使用要求。

表 13 结论与建议

结论

13.1 实践正当性分析

东阳市横店集团医院（横店文荣医院）迁扩建 SPECT/CT、PET-CT、DSA 项目，目的在于开展放射诊断工作，其产生的危害同社会和个人从中取得的利益相比是可以接受的。配备该项目不仅能满足滨江医院未来学科发展的需求，也能满足杭州滨江地区未来数年的医疗行业发展的需求，解决杭州看病贵看病难问题，为杭州人民群众提供更优质的医疗服务。因此，该院辐射诊断装置的建设和运行符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求。

13.2 选址合理性分析

东阳市横店集团医院（横店文荣医院）所在地东侧为横店客运中心，南侧为迎宾大道，西侧为上城老路和民房(距最近民房距离约为 100m)，北侧为民房(距最近民房距离约为 100m)，四周 50m 无环境敏感点。

项目拟购的 DSA 的拟建址位于东阳市横店集团医院（横店文荣医院）门急诊医技楼三楼，其东侧为空地，南侧为迎宾大道，西侧为上城老路，北侧为住院楼。PET-CT 位于住院部地下一楼核医学科，其东侧为操作室和走道，南侧为走廊，西侧为更衣室，北侧为候诊室（2）。SPECT/CT 位于住院部地下一楼核医学科，其东侧为走道，南侧为 SPECT/CT 的操作室，西侧为 PET-CT 的操作室和走道，北侧为等候区。DSA 位于医技楼三楼，其东侧为手术室，南侧为门诊手术室，西侧为天井，北侧为设备间。

根据类比监测结果，机房周围的 X-γ 辐射剂量率未见显著升高，表明机房周围的环境不会受到额外的辐射照射。

因此，本项目的选址是合理可行的。

13.3 辐射环境影响分析

由分析可知，本项目辐射工作人员和公众成员的附加年有效剂量当量均低于本项目的剂量管理限值（5mSv 和 0.25mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

13.4 辐射环境管理制度

在历年运行中，医院成立了辐射安全防护和放药管理小组，制定了《辐射工作安全责任书》、《辐射安全防护与管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量控制方案》、《放射废物处理方案》、《辐射安全防护自行检查及年度监测制度》、《核医学科门诊用药患者管理

制度》、《放射性药品的使用、清洁管理制度》、《放射性核素操作规程》等一系列规章制度。

医院从事辐射操作的工作人员已参加了环保部门组织的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并已取得相应资格上岗证。

医院辐射工作人员均已配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位检测一次，并建立了个人剂量档案。

医院已为辐射工作人员进行职业健康检查，每次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查，并建立个人健康档案。针对医院现有情况，及扩建后辐射活动规模扩大的变化情况，仍需满足以下要求：

（1）制定新增射线装置及放射性同位素使用的《操作规程》。

（2）制定《岗位职责》。

（6）要求新增的辐射工作人员按每 4 年一次进行再培训。

（7）要求新增的辐射工作人员也配备个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到有资质的单位检测一次，并建立个人剂量档案，加强档案管理。

（8）要求未进行身体健康检查的上岗人员进行职业健康检查；新增辐射工作人员每 2 年进行身体健康检查，并建立个人健康档案。对于新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检，合格者才能上岗；在本院从事过辐射工作的人员在离开工作岗位时也要进行健康检查。

（9）环评报批后，医院需及时向环保部门申请换领《辐射安全许可证》，并更改副本内容。

（10）医院须在本项目及医院的射线装置部分的内容投入试运行 3 个月内申请竣工验收。

（11）拟增项目在建设阶段应做好施工期环境监理，确保辐射安全。

（12）本项目实施退役的，应当依法编制和报批退役环境影响评价文件，按照环境保护行政主管部门的批复要求落实各项退役措施并接收验收检查。

13.5 结论

综上所述，东阳市横店集团医院（横店文荣医院）在完善核医学科布局与防护，并充分落实本报告提出的各项污染防治措施和规章制度的前提下，本次扩建项目对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

（1）本项目建成后，结合项目开展，新增相应的操作规程和管理制度。

（2）要求组织所有新增的辐射工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按每 4 年一次的要求进行再培训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。

（3）环评报批后，医院需及时向相关部门申请更换许可证，并更改副本内容。

（4）医院须在本项目投入试运行 3 个月内申请竣工验收。